

А.Г. Саржинская, Ю.Н. Внуков, д-р техн. наук, Запорожье, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДГЕЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ**

*Описано вплив адгезионної активності інструментального матеріалу на основні характеристики процесу різання. Рівень адгезионної активності, а також розташування плівкового покриття на контактній поверхні.*

*Описано влияние адгезионной активности инструментального материала на основные характеристики процесса резания. Уровень связывающей активности, а также расположение пленочного покрытия на контактной поверхности.*

A.G. SARZHINSKAJA, JU.N. VNUKOV

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF ADHESIVE ACTIVITY OF CUTTING TOOL ON CUTTING PROCESS MAIN CHARACTERISTICS

*Influence of adhesive activity of cutting tool contact surfaces on cutting process main characteristics is described. Level of adhesive activity as well as location of film coating on the contact surface are considered.*

Инструменты с тонкими пленочными покрытиями получили широкое распространение в современной металлообработке благодаря повышенной стойкости по сравнению с ненапыленными инструментами. Однако их применение далеко не всегда оказывается настолько эффективным, как ожидается. Это связано с тем, что при общеизвестном факте положительного влияния пленок на стойкость инструмента механизм этого влияния не раскрыт. Существуют мнения о том, что покрытие меняет теплопроводность инструмента, препятствует появлению лунок износа за счет собственной износостойкости и прочие, однако, учитывая толщину пленок и их химический состав, становится очевидной ошибочность подобных версий. В действительности суть работы тонких (<10 мкм) пленочных покрытий состоит в изменении условий трения между обрабатываемым материалом и контактными поверхностями инструмента вследствие существенного (в несколько раз) изменения адгезионной активности последних. Причем тонкими пленками можно как снижать, так и увеличивать схватывание со стружкой. Таким образом, адгезионная активность инструмента может рассматриваться как инструмент регулирования процессов, протекающих на контактных площадках инструмента, и поэтому исследование ее представляет интерес.

Одним из способов увеличения адгезионной активности поверхности инструментов может быть нанесение сверху на пленку из нитрида титана тонкого адгезионно-активного к обрабатываемому материалу слоя [1]. Наличие такой композиции, позволяет принципиально изменить условия контакта

стружки с передней поверхностью, и в результате этого добиться значительного повышения стойкости инструмента для определенных условий резания.

Для получения композиционного покрытия в установках типа «Булат» на инструмент наносили износостойкое покрытие TiN, постепенно переходящее в адгезионно-активный слой (ААС) чистого титана или непосредственно обрабатываемого материала. Такое композиционное покрытие за счет изменения условий схватывания с обрабатываемым материалом в первые моменты контакта определяет место расположение основного очага износа и условия трения на передней поверхности.

В таблице 1 и на рис. 1 представлены результаты исследования контактных характеристик и стружкообразования при резании инструментом с покрытием TiN и с покрытием TiN, на которое нанесен адгезионно-активный слой (чистого титана).

Таблица 1 – Влияние нанесения адгезионно-активных слоев (ААС) на контактные характеристики и усадку стружки

Материал покрытия	Скорость резания, м/с	Усадка стружки Ka	Составляющие силы резания, Н		Длина контакта C, мм	Относительная длина контакта c/a	Площадь контакта стружки S, мм <sup>2</sup>	Среднее контактное давление q <sub>н</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	Средний коэффициент трения, μ	Удельная сила трения q <sub>F</sub> , Н/мм <sup>2</sup>
			P <sub>z</sub>	P <sub>y</sub>						
TiN	0,67	3,03	1432	569	0,93	3,10	2,14	610	0,62	378
TiN + ААС		3,42	1618	706	1,42	4,74	3,10	412	0,66	271
TiN	0,83	2,88	1392	559	0,97	3,23	2,29	554	0,62	343
TiN + ААС		3,38	1530	745	1,46	4,87	3,23	380	0,72	274

Результаты исследований показывают, что ААС существенно влияет на изменение условий контакта инструмента со стружкой.

Как показано на рис. 1, форма «типичных» кривых для резцов с ААС изменяется и становится по виду подобной той, что у инструмента без покрытия, т.е. рельефно начинает проявляться зона наростообразования.

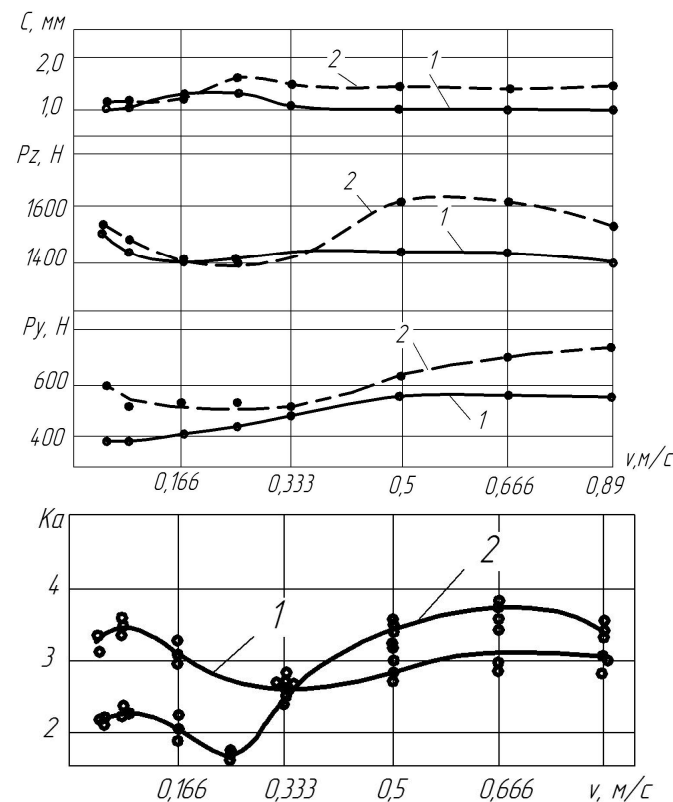


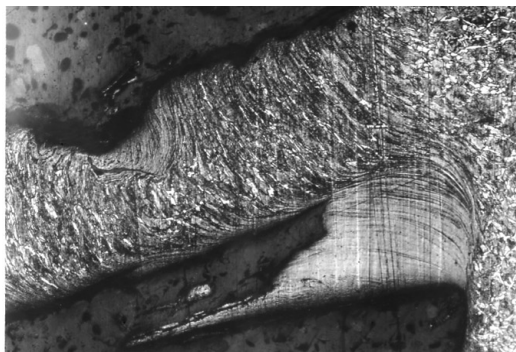
Рисунок 1 – Влияние адгезионно-активного слоя (ААС) на характер типичных кривых (свободное ортогональное резание стали 45,  $a = 0,3$  мм,  $v = 1,5$  мм/с,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ):

- 1 – P6M5+TiN,  
2 – P6M5+TiN+ААС(Ti)

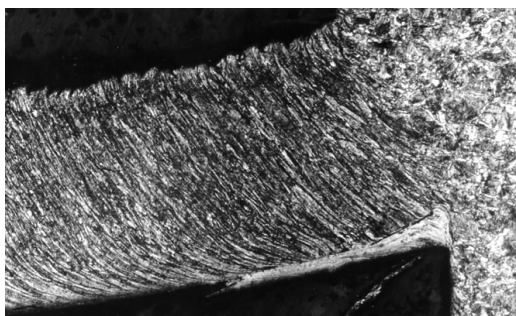
На микрофотографиях корней стружек (рис 2), полученных при скорости  $v = 0,25$  м/с (интенсивное наростообразование) видно, что ААС, нанесенный на износостойкое покрытие, способствует появлению более развитого нароста.

На рис. 1 можно видеть, что составляющие силы резания и длина контакта у инструмента с ААС выше, чем с пленкой нитрида титана. Расчет контактных характеристик при скоростях резания 0,67 и 0,83 м/с показывает, что нанесение ААС значительно (на 46-48%) снижает величину средних контактных давлений. Интересно заметить, что значение удельной силы трения у резцов с ААС также значительно ниже, чем у резцов с покрытием из нитрида титана, что может быть объяснено дополнительным пластическим течением более мягкого адгезионно-активного слоя. Но вместе с тем, величина  $q_F$  по-

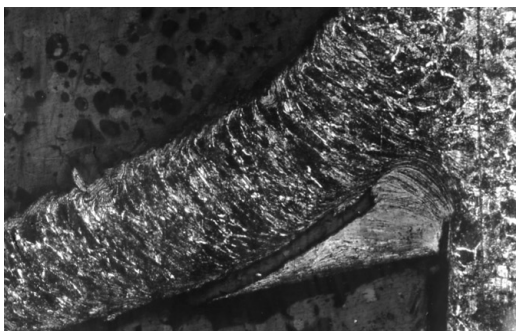
стоянна для каждого из двух условий резания (с ААС и без него), что соответствует выводам работы [2].



*a*



*б*



*в*

Рисунок 2 – Наростообразование при резании: а – инструментом без покрытия; б – инструментом с покрытием TiN; в – инструментом с покрытием TiN+ААС.

Использование адгезионно-активных слоев на износостойких пленках позволяет значительно изменять контактные характеристики и условия стружкообразования, показывая тем самым, что адгезионная активность контактной поверхности инструментального материала может быть характеристикой, регулирующей процесс резания.

Однако, при рассмотрении роли адгезионных процессов на передней поверхности до сих пор остается экспериментально не доказанным вопрос о том, какая часть зоны контакта – «пластическая», прилегающая к режущей кромке или «упругая», находящаяся в месте неустойчивого дискретного контакта оказывает решающее влияние на характер стружкообразования.

Некоторые авторы считают, что адгезионная составляющая силы трения имеет максимальное значение у режущей кромки и постепенно снижается, приближаясь к точке отрыва стружки [3].

Влияние различных зон взаимодействия стружки с передней поверхностью инструмента на формирование контактных процессов и зоны стружкообразования наиболее полно рассмотрено в работах Н.В. Талантова и его учеников [4, 5].

По их мнению, главную роль в процессе стружкообразования играет зона пластического контакта, точнее ее начальный участок упрочнения, связанный с зоной стружкообразования. При этом процессы, происходящие на участке упрочнения оказывают влияние на величину угла наклона плоскости начала зоны стружкообразования. Участок же разупрочнения и зона упругого контакта только косвенно влияют на закономерности роста температур в зоне пластического деформирования и не определяют условия стружкообразования.

Ю.М. Быков [6], резюмируя результаты исследований контактных процессов на инструменте с износостойкими пленками, отмечает, что коэффициент «внешнего трения» на участке «упругого» контакта вносит незначительный вклад в уменьшение сил резания. Он считает, что увеличение угла сдвига и сокращение длины контакта связано со снижением значений сопротивления пластическому деформированию контактного слоя стружки на начальном участке «пластического» контакта из-за снижения в его объеме продиффундировавших атомов инструментального материала, закраинированного износостойкой пленкой. К такому выводу он приходит исходя из общей схемы построения контактных процессов по Н.В. Талантову, где процесс деформации элементарного объема контактного слоя стружки рассматривается при прохождении им последовательно участка упрочнения, разупрочнения и только затем участка «упругого» контакта, названного им участком «вязкого трения». Мы считаем, что в этой схеме игнорируется роль начального уровня напряженно-деформированного состояния контактного слоя стружки у вершины резца, из которой взят и рассматривается элементарный объем металла при прохождении его через участки «упрочнения» и «разупрочнения». По нашему мнению, уровень напряженно-деформированного состояния в зоне контактных пластических деформаций, в основном, определяется условиями трения на «упругом» участке контакта. Это утверждение легко доказать экспериментально, для чего используем возможность избирательно менять адгезионные условия в разных зонах контакта передней поверхности инструмента, путем нанесения износостойких пленок.

На переднюю поверхность режущих пластин, были нанесены износостойкие пленки по трем вариантам, показанным на рис. 3, где во втором варианте вся передняя поверхность полностью покрывалась пленкой из нитрида титана, в третьем только узкая полоска у режущей кромки шириной 0,5 - 0,6мм, и в четвертом вся передняя поверхность, кроме узкой полоски шириной 0,5 - 0,6мм у режущей кромки. Для сравнения использовали пластинку без покрытия – вариант I.

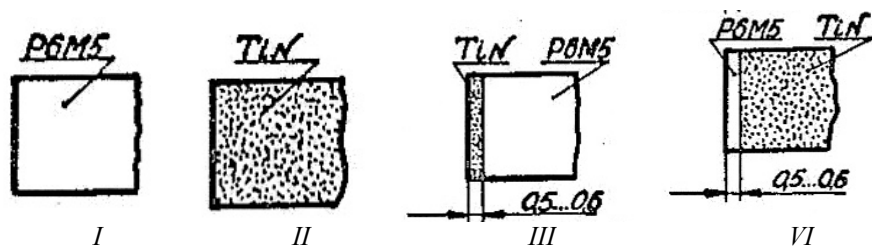


Рисунок 3 – Варианты передней поверхности резцовой пластинки с зонами различной адгезионной активности

«Типичные» кривые получены при изменении скорости резания от 0,017 до 0,75 м/с в условиях свободного резания с толщиной среза  $a = 0,3$  мм и шириной среза  $b = 2$  мм, без СОЖ. Результаты измерений приведены на рис. 4.

Тонкие полоски у режущей кромки в вариантах 3 и 4 позволяют создать различные условия молекулярного схватывания на пластической и «упругой» зонах контакта передней поверхности со стружкой. Рассмотрение «типичных» кривых (рис. 4) показывает, что кривые зависимости основных контактных характеристик и усадки стружки от скорости резания расположились парами, причем наблюдается строгая закономерность состава пары. Эта закономерность связана с тем, что пару образуют режущие пластинки с одинаковыми условиями трения на втором – «упругом» участке контакта. Т.е. первая пара: варианты 1 и 3 и вторая пара: варианты 2 и 4. У первой пары в зоне «упругого» контакта нет покрытия, а у второй пары имеется. Этот простой и очень наглядный эксперимент говорит о том, что на процессы стружкообразования основное влияние оказывают условия трения стружки в «упругой» зоне контакта, а явления, происходящие в «пластической» зоне являются их следствием.

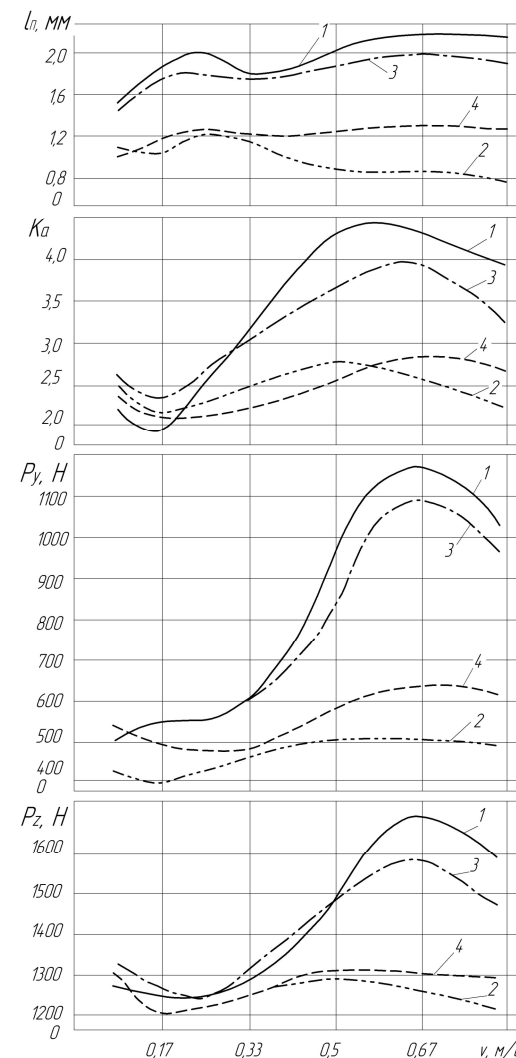


Рисунок 4 – Влияние расположения зон передней поверхности с различной адгезионной активностью на характер типичных кривых:

- 1 – I вариант;
- 2 – II – второй вариант;
- 3 – III вариант;
- 4 – IV вариант (в соответствии с рис. 3)

Полученные результаты не противоречат практическому опыту. Действительно, если различия в адгезионной активности фрикционного контакта

при резании преимущественно проявляются в зоне удаленной от режущей кромки, то становится совершенно объяснимой роль жидких и газообразных сред в изменении условий резания и работоспособности инструментов. Очевидно, что эти среды, проникая через дискретный или неустойчивый сплошной контакт, в зоны трения, адсорбируясь или производя хемосорбционные эффекты на контактных поверхностях, изменяют их адгезионную активность.

Итак, исследования показывают, что адгезионная активность поверхности инструментального материала может оказывать существенное влияние на условия его контакта с обрабатываемым материалом и процесс образования стружки.

**Список литературы:** 1. А.с. 1559760. Многослойный материал для изготовления инструмента/ Внуков Ю.Н. и др. - №4318525; заявл. 22.12.1989. 2. Внуков Ю.Н., Саржинская А.Г. Влияние условий контактирования инструмента со стружкой на удельную силу трения. // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2007. – С.377-384. 3. Гордон М. Б. Физическая природа трения при обработке металлов резанием // Физико-химическая механика контактного взаимодействия в процессе резания металлов. – Чебоксары: Изд-во Чувашск. ун-та, 1984. – 122с. 4. Талантов Н.В. Исследование контактных процессов, тепловых явлений и износа режущего инструмента: автореф. дисс. на соискание научн. степени доктора техн. наук/ Н.В. Талантов.- Ижевск, 1970. - 48 с. 5. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания: Учебное пособие. - Волгоград: Издательство ВПИ, 1988. - 129 с. 6. Быков Ю.М. Исследование закономерностей износа твердосплавного инструмента с износостойкими покрытиями с целью повышения его работоспособности: автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук/ Ю.М. Быков. – Тбилиси, 1984.-19 с.

*Поступила в редколлегию 16.05.2011*

**Bibliography (transliterated):** 1. A.s. 1559760. Mnogoslojnyj material dlja izgotovlenija instrumenta/ Vnukov Ju.N. i dr. - №4318525; zjavl. 22.12.1989. 2. Vnukov Ju.N., Sarzhinskaja A.G. Vlijanie uslovij kontaktirovanija instrumenta so struzhkoj na udel'nuju silu trenija. // Vestnik nacional'nogo tehničeskogo universiteta Ukrainy «Kievskij politehničeskij institut». Mashinostroenie. – K.: NTUU «KPI». – 2007. – S.377-384. 3. Gordon M. B. Fizičeskaja priroda trenija pri obrabotke metallov rezaniem // Fiziko-himičeskaja mehanika kontaktnogo vzaimodejstvija v processe rezanija metallov. – Cheboksary: Izd-vo Chuvashsk. un-ta, 1984. – 122s. 4. Talantov N.V. Issledovanie kontaktnyh processov, teplovyh javlenij i iznosa rezhuvogo instrumenta: avtoref. diss. na soiskanie nauchn. stepeni doktora tehn.nauk/ N.V. Talantov.- Izhevsk, 1970. - 48 s. 5. Talantov N.V. Fizicheskie osnovy processa rezanija: Učebnoe posobie. - Volgograd: Izdatel'stvo VPI, 1988. - 129 s. 6. Bykov Ju.M. Issledovanie zakonornostej iznosa tverdosplavnogo instrumenta s iznosostojkimi pokrytijami s cel'ju povyšhenija ego rabotosposobnosti: avtoref. diss. na soiskanie nauchn. stepeni kand. tehn. nauk/ Ju.M. Bykov. – Tbilisi, 1984.-19 s.